



Dossier d'information

12 septembre 2013 – Plateau de Saclay

Inauguration d'IPANEMA

Institut photonique d'analyse non-destructive européen
des matériaux anciens



INAUGURATION D'IPANEMA INSTITUT PHOTONIQUE D'ANALYSE NON-DESTRUCTIVE EUROPÉEN DES MATÉRIAUX ANCIENS (PLATEAU DE SACLAY)

1

La plateforme de recherche IPANEMA (CNRS / ministère de la Culture et de la Communication), dédiée à l'étude avancée des matériaux de l'archéologie, de la paléontologie, des environnements anciens et du patrimoine culturel, est inaugurée aujourd'hui au synchrotron SOLEIL.

IPANEMA, la plateforme de recherche matériaux anciens

Archéologues, paléontologues, scientifiques de la conservation et des environnements anciens se réunissent au synchrotron SOLEIL depuis 2006 pour concevoir la structure qui répondra le mieux à leurs besoins de recherche. De cette réflexion commune et interdisciplinaire est né IPANEMA, l'Institut photonique d'analyse non-destructive européen des matériaux anciens, qui accueillera les équipes françaises, européennes et internationales dans ses nouveaux locaux à partir de 2014. La construction et l'équipement d'IPANEMA sont financés à parité par l'État et la Région Île-de-France, et comprennent un nouveau bâtiment attenant au synchrotron SOLEIL et une ligne synchrotron optimisée pour les matériaux anciens, PUMA.

Deux modalités d'intervention :

Accueil de scientifiques et recherche méthodologique de pointe

Principale structure de soutien aux matériaux anciens sur grand instrument au niveau international, IPANEMA contribue à renforcer la recherche européenne et internationale sur ces thématiques et fait bénéficier les sciences des matériaux anciens et des paléoenvironnements du contexte exceptionnel de recherche sur le plateau de Saclay. L'équipe de la plateforme accompagne des travaux synchrotron de pointe et développe une recherche méthodologique originale en imagerie photonique et analyse des données. Le soutien à l'étude de corpus d'échantillons anciens sera assuré par la création de projets « hébergés » permettant l'accueil de scientifiques sur des durées pouvant aller jusqu'à trois années.

L'inauguration d'une infrastructure unique au monde

Le nouveau bâtiment, d'une superficie de 1800 m² et construit dans le respect des prescriptions environnementales, regroupera dès 2013 l'équipe du laboratoire et les scientifiques hébergés. Il offre également des espaces expérimentaux dédiés à la préparation, à la caractérisation des matériaux anciens et au développement instrumental. Les conditions de manipulation des spécimens et objets sur les lignes de lumière de SOLEIL seront conformes aux réglementations en vigueur.

La ligne PUMA (Photons Utilisés pour les Matériaux Anciens) alimentera deux stations expérimentales: l'une d'imagerie 2D (spectro-microscopie de rayons X), l'autre d'imagerie 3D (micro-tomographie X). Les deux branches viseront une résolution de l'ordre du micromètre. La ligne sera optimisée pour l'étude de matériaux anciens, en permettant notamment la caractérisation de collections d'échantillons et en minimisant les temps de réglage sur les échantillons complexes. La ligne PUMA ouvrira progressivement à partir de 2014.



crédits : Yves Chemineau Architecte

Contacts presse : Muriel ILOUS, muriel.ilous@cnrs-dir.fr
Régina OPRANDI, regina.oprandi@synchrotron-soleil.fr
Contact scientifique : Loïc BERTRAND, loic.bertrand@synchrotron-soleil.fr

Des partenaires nationaux et internationaux de premier plan

IPANEMA est une unité mixte de recherche et de service du CNRS et du ministère de la Culture et de la Communication.

Construction :

L'État (ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche)

La Région Île-de-France

La construction et l'équipement d'IPANEMA, incluant la ligne synchrotron PUMA, sont financés à parité par l'État français et la Région Île-de-France dans le cadre du Contrat de projets 2007-2013.

État :

équipement : 1,5 M€

ligne synchrotron PUMA : 3 M€



Région Île-de-France :

4,5 M€

Cotutelles :

Le Centre national de la recherche scientifique

Le ministère de la Culture et de la Communication

Principal organisme de recherche français, le CNRS intervient dans IPANEMA à travers quatre instituts : l'Institut écologie et environnement, l'Institut des sciences humaines et sociales, les Instituts de physique et de chimie. IPANEMA est unité du CNRS depuis le 1^{er} janvier 2010. Le ministère de la Culture et de la Communication est cotutelle d'IPANEMA depuis le 1^{er} janvier 2012.

Partenaire : Le Muséum national d'histoire naturelle

Structure de recherche scientifique, d'enseignement et de formation, le Muséum national d'histoire naturelle est un partenaire de premier plan de la recherche sur les matériaux de l'archéologie, la paléontologie, les paléoenvironnements et la conservation des collections patrimoniales.

Site : Le synchrotron SOLEIL

IPANEMA est localisé sur le site du synchrotron SOLEIL. Les lignes de SOLEIL alimentent les recherches d'un large ensemble de communautés scientifiques : physique, chimie, sciences des matériaux, du vivant, de la Terre, de l'environnement, des matériaux anciens, etc.

Accords de collaboration scientifique :

L'agence néerlandaise de financement de la recherche NWO

La Commission Européenne

The Smithsonian Institution of the USA

L'agence néerlandaise de financement de la recherche NWO est entrée au Comité de pilotage d'IPANEMA le 30 mars 2010. Elle soutient les projets développés sur IPANEMA dans le cadre de son appel à projets *Science4Arts* associant NWO, IPANEMA, le Getty et la NSF.

La Commission européenne soutient l'accès des scientifiques européens à IPANEMA à travers le projet CHARISMA du 7^e programme-cadre de recherche et de développement technologique.

IPANEMA et la Smithsonian Institution of the USA sont liés par un accord de partenariat signé en présence de madame la ministre de la Recherche en juin 2010. Les premiers résultats des travaux menés conjointement ont été publiés.





Le nouveau bâtiment d'IPANEMA ouvre ses portes aujourd'hui. La mise en place de la nouvelle infrastructure d'IPANEMA comprend deux opérations majeures sur le site de SOLEIL : la construction du bâtiment de la plateforme et celle de la ligne synchrotron PUMA.

Nouveau bâtiment d'IPANEMA

Le bâtiment, dédié aux matériaux anciens, comprend deux secteurs principaux :

- des bureaux et espaces communs dédiés à l'équipe de l'unité IPANEMA et aux scientifiques hébergés sur projets matériaux anciens de moyen terme ;
- quatre salles de laboratoire, deux salles de préparation des échantillons en vue des études synchrotron.

La conception et la construction des locaux ont été guidées pour répondre à quatre besoins essentiels: permettre l'étude de biens culturels dans des conditions optimales, assurer un fonctionnement adapté aux équipement de micro- et nano-caractérisation, privilégier la convivialité, échanges et communication entre scientifiques utilisateurs du bâtiment, et respecter l'environnement.

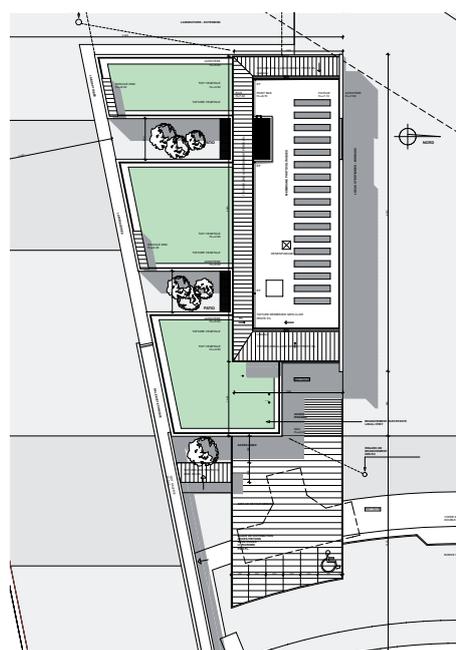
IPANEMA constitue un lieu interdisciplinaire, convivial et stimulant d'échanges continus.

L'architecte : Yves Chemineau

« La plateforme scientifique « IPANEMA », dédiée à la recherche sur les matériaux anciens, s'insère dans les grandes lignes de l'aménagement architectural et paysager du site Synchrotron SOLEIL.

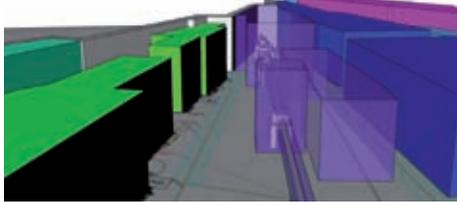
Sa volumétrie, ses matériaux, son positionnement, répondent à la définition du programme dans le cadre d'une démarche de haute qualité environnementale.

Un des objectifs majeur de ce projet a été de concilier le confort des utilisateurs avec celui de la réduction des dépenses énergétiques.»



PUMA, la ligne synchrotron optimisée pour les matériaux anciens

Pour répondre aux besoins non couverts à SOLEIL, le projet IPANEMA finance la construction d'une ligne d'imagerie de rayons X unique au monde : PUMA.



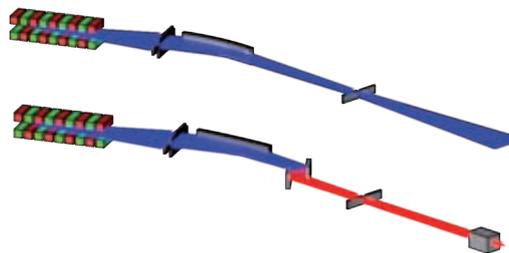
En construction, la nouvelle ligne synchrotron PUMA (Photons Utilisés pour les Matériaux Anciens) alimentera deux stations expérimentales : l'une de spectro-microscopie X durs (imagerie 2D et micro-analyses ponctuelles), l'autre de micro-tomographie X durs (imagerie 3D). Ces méthodes d'imagerie sont les plus demandées pour étudier la morphologie, la composition, la structure et les propriétés des matériaux anciens.



Les deux branches viseront une résolution de l'ordre du micromètre. La ligne sera optimisée pour minimiser les temps de réglage et permettre la mesure de larges collections d'échantillons.

Comme pour l'ensemble d'IPANEMA, la définition de PUMA s'appuie sur un large travail collectif qui a culminé en mai 2009 avec le colloque « A beamline for ancient materials at SOLEIL ».

Sur cette base, la construction de la ligne de lumière conçue selon des recommandations nombreuses de la communauté scientifique a démarré au printemps 2012 pour une ouverture aux utilisateurs en 2015. À plus long terme, une deuxième station expérimentale sera créée dans un bâtiment satellite. Les utilisateurs de PUMA profiteront alors de paramètres optiques encore plus performants. La nouvelle station sera fortement automatisée avec un robot permettant l'analyse autonome de grandes séries d'échantillons.



Autres équipements de la plateforme

IPANEMA met à disposition de ses utilisateurs et personnels un ensemble d'équipements de pointe pour la préparation et le repérage des échantillons, et différents instruments de caractérisation complémentaire : microscopie infrarouge, microscopie électronique, microscopie optique, colorimétrie. Une source de rayons X est en cours de mise en place.

Un banc mécanique et électronique est destiné à l'accompagnement du développement instrumental. Un pilote de calcul permet l'optimisation de codes destinés au traitement et à l'analyse statistique des données.



crédits : © CNRS Photothèque / Cyril FRÉSILLON.

L'hétérogénéité propre aux matériaux anciens, résultant de leur histoire, requiert l'analyse de corpus d'échantillons en imagerie pour pouvoir en extraire une information significative. Les matériaux anciens constituent des systèmes difficilement modélisables. La recherche méthodologique d'IPANEMA vise donc à la construction de stratégies analytiques adaptées.

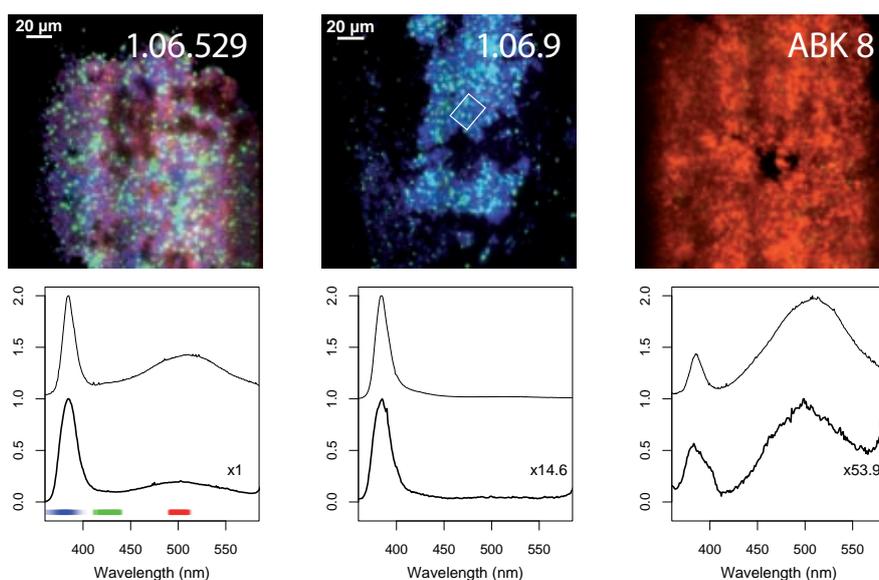
Deux axes sont privilégiés : le développement de méthodes d'imagerie, et l'analyse de données multivariées de matériaux anciens. Cette recherche méthodologique bénéficie du couplage entre recherche, développement instrumental et formation, propre à la plateforme. L'unité développe les partenariats nécessaires pour répondre à cette mission majeure, mais aussi pour anticiper les besoins futurs.

Imageries et spectroscopies de matériaux anciens

Les expériences synchrotron permettent d'obtenir des informations aussi bien morphologiques, que structurales, chimiques et élémentaires grâce à la résolution énergétique, la faible divergence et l'accordabilité des faisceaux. Ces caractéristiques facilitent grandement la compréhension de l'hétérogénéité multi-échelle des matériaux anciens, étudiés par des techniques de spectro-microscopie et de tomographie à hautes résolutions spatiale et énergétique.

Cet axe comprend :

- le développement de nouvelles méthodologies d'analyse 2D et 3D sur tout le spectre électromagnétique accessible au synchrotron ;
- la conception de couplages analytiques spécifiques visant à la caractérisation complète des échantillons à leurs différentes échelles ;
- la manipulation de l'échantillon et des séries d'échantillons, et les environnements d'analyse associés ;
- le repérage sur l'échantillon par des approches invasives ou non invasives ;
- le développement d'approches et de procédures analytiques visant à minimiser le risque d'apparition de dégâts d'irradiation.



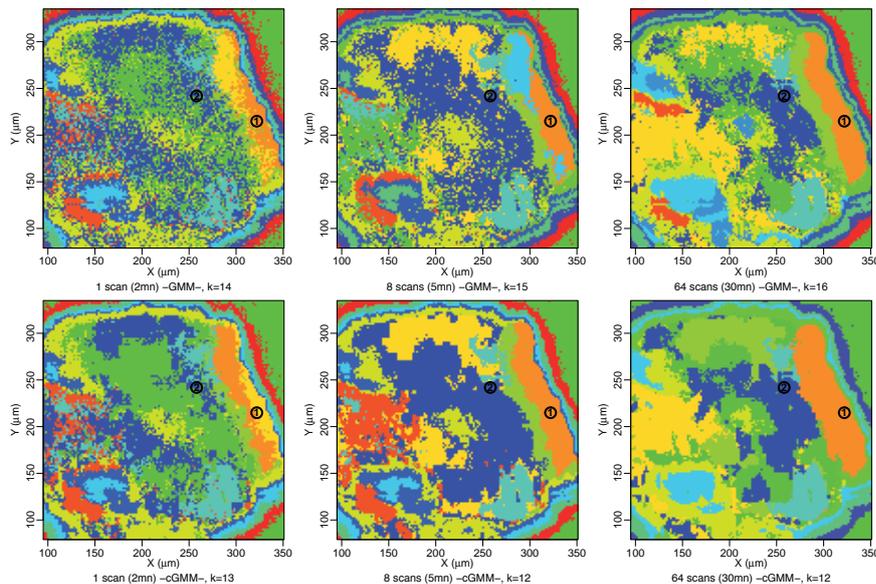
*Mise au point d'une nouvelle méthode d'imagerie UV/visible synchrotron
des matériaux de l'archéologie, du patrimoine et de l'environnement
(M. Thoury et al.).*

Analyse de données multivariées de matériaux anciens

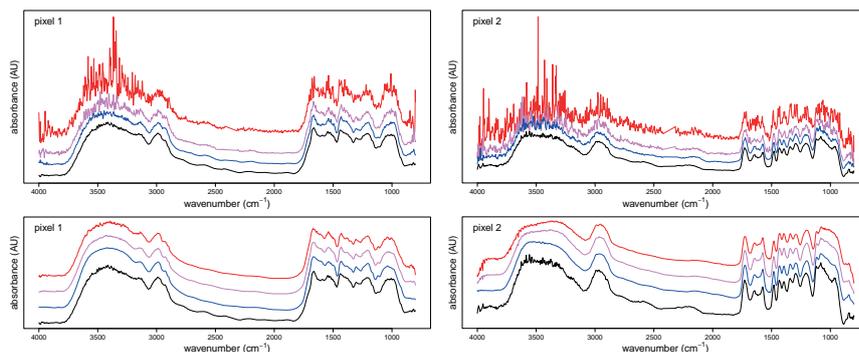
La non-reproductibilité de la production et la fragilité lors de l'expérimentation des échantillons de matériaux anciens, leur rareté voire unicité, motivent le développement de méthodes mathématiques de traitement des données en vue d'extraire un maximum d'information des mesures réalisées. Ces méthodes doivent tout à la fois être adaptées à chaque problématique et reposer sur des bases théoriques qui permettent de garantir la qualité des résultats. Ce sont les conditions *sine qua non* pour exploiter au mieux les connaissances *a priori* sur les systèmes et se focaliser sur les informations pertinentes pour la question posée.

Du point de vue mathématique la quantité de données générées par les expériences synchrotron est dans un entre-deux : trop importante pour une analyse *ad hoc* de chaque donnée, trop faible pour pouvoir appliquer directement les méthodes des statistiques classiques. L'équipe d'IPANEMA poursuit donc une recherche mathématique originale au croisement du traitement du signal et des statistiques. Fondée sur la nature et la typologie des données synchrotron de matériaux anciens, nous avons donc axé cette activité sur :

- l'analyse multivariée de données de spectro-microscopie en vue d'améliorer la qualité des estimations faites à partir de ces données ;
- la systématisation et l'automatisation des traitements, pour rendre possible la caractérisation de corpus d'objets et atteindre la reproductibilité requise pour établir des comparaisons inter-corpus ;
- la combinaison de l'information *a priori* avec les résultats des mesures pour améliorer la qualité des modèles générés, notamment en tomographie ;
- la mise au point d'algorithmes permettant la combinaison de mesures effectuées dans des modalités différentes.



Classification des spectres infrarouges pris sur un échantillon de vernis sur bois en intégrant un modèle de mélanges gaussiens permettant de combiner informations spectrale et spatiale.



Estimation des spectres à partir de la classification ci-dessus. Le niveau de bruit est très fortement réduit, permettant d'obtenir, à partir d'un temps d'acquisition de 2 min, un spectre après traitement d'une qualité équivalente à celle obtenue en 2h sans ce traitement (S. Cohen et al).

IPANEMA apporte un soutien à la recherche sur les matériaux anciens dans le cadre de projets hébergés, et dans celui de projets ponctuels de quelques jours, format classique pour une installation synchrotron.

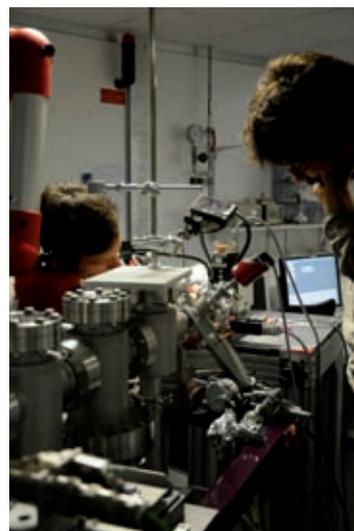
La modalité de projets *hébergés*, sur une durée d'une à trois années, a été ouverte à trois projets pilotes. Elle sera étendue en régime permanent à une vingtaine de scientifiques : étudiants en thèse, post-doctorants et chercheurs. Les interactions facilitées entre spécialistes des matériaux anciens et des méthodes participeront à la formation sur place et à l'optimisation des demandes de temps de faisceau.

Aide au montage de projets synchrotron

L'unité soutient les scientifiques des communautés moins habitués aux demandes de temps de faisceau synchrotrons pour qu'ils précisent les besoins expérimentaux liés à leur sujet de recherche.

Adapter l'échantillon ou... la méthode analytique

Parce que les échantillons anciens sont la plupart du temps fortement hétérogènes, la phase de préparation des échantillons est décisive pour extraire des informations exploitables des analyses. De plus, le temps de faisceau synchrotron étant limité, il est indispensable de connaître au mieux l'échantillon à analyser. La plateforme est équipée d'instruments de préparation et de caractérisation permettant de préparer et repérer en amont les zones à analyser.



IPANEMA assure le suivi et la mise en place de ces équipements et de la ligne PUMA, et soutient les travaux menés sur les lignes de lumière. IPANEMA mène des développements instrumentaux spécifiques pour les projets des scientifiques hébergés sur la plateforme. L'intégration des études de corpus est en soi un défi pour l'expérimentation synchrotron, pris en compte notamment dans le développement de la ligne PUMA.



crédits : © CNRS Photothèque / Cyril FRÉSILLON.

Soutien approfondi au traitement des données

La quantité de données extraites d'une expérience synchrotron est telle que le traitement des données est un enjeu fort pour la plateforme. L'unité propose des méthodes adaptées pour veiller à une analyse aboutie des jeux de données.

Les travaux menés conjointement conduisent à la diffusion des résultats sous forme de publications, de bases de données de référence, de méthodes et programmes à libre disposition de la communauté.

TROIS PROJETS HÉBERGÉS PILOTES

À ce jour, IPANEMA accueille trois projets hébergés pilotes. Les projets hébergés standards seront mis graduellement en place à compter de 2014.



Claire Gervais est professeure à la Haute école des arts de Berne (Suisse) et à la Smithsonian Institution (États-Unis). Elle collabore avec IPANEMA sur les mécanismes de décoloration du pigment Bleu de Prusse, notamment les rôles du substrat (papier, textile) et l'impact des cycles de décoloration-coloration sur la structure cristalline et chimique du pigment. La spectroscopie d'absorption des rayons X couplée à la colorimétrie d'échantillons lui a permis de montrer que la cinétique et l'ampleur du processus de photoréduction dépendent de la nature du substrat papier et de la présence d'impuretés en son sein.



Pierre Gueriau, doctorant au Département de paléontologie du Muséum national d'histoire naturelle et au Centre de recherche sur la paléobiodiversité et les paléoenvironnements, étudie les processus physico-chimiques conduisant à la conservation exceptionnelle de spécimens paléontologiques. Il utilise les méthodes de spectroscopie et d'imagerie de SOLEIL et prépare ses échantillons à IPANEMA.

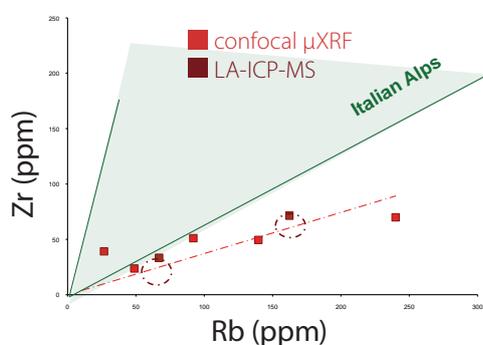


Annelies van Loon, chercheuse au musée Mauritshuis de La Haye et à l'université d'Amsterdam (Pays-Bas), a obtenu une prestigieuse bourse NWO Science4Arts pour étudier à IPANEMA les procédés de peinture de Rembrandt et les processus de dégradation des couches picturales, notamment par saponification. Elle s'appuie notamment sur des méthodes de micro-spectroscopie infrarouge synchrotron.

La mise en place d'IPANEMA a entraîné une très forte croissance des projets déposés à SOLEIL sur les matériaux anciens. Depuis l'ouverture du synchrotron en 2008, plus de 180 ont été déposés, dont près d'une centaine ont été retenus. La moitié de ces expériences bénéficie d'un soutien d'IPANEMA. États-Unis, Royaume-Uni, Belgique, Pays-Bas, Italie, etc. 35% des projets acceptés proviennent de groupes étrangers !

Archéologie

En **archéologie**, les techniques synchrotron apportent des informations essentielles sur les étapes des chaînes opératoires du choix des matières premières aux procédés de fabrication et aux modes de circulation, leurs usages, leurs contextes ainsi que leur altération. Les techniques synchrotron permettent l'étude de matériaux archéologiques très diversifiés : métaux, céramiques, verres, textiles, matériaux lithiques, vestiges organiques, matières colorantes, etc.



Suivi de la diffusion de procédés métallurgiques par l'étude de micro-inclusions fayalitiques (St. Leroy *et al.*)

Compréhension de procédés céramiques gallo-romains par micro-imagerie et spéciation de rayons X (Ph. Sciau *et al.*)

Paléontologie

Le développement des méthodes d'imagerie 3D de rayons X de type micro-tomographie constitue une révolution technologique en **paléontologie**. Sans plus avoir à sectionner les spécimens, il est désormais possible de visualiser la structure interne des fossiles à une échelle pouvant aujourd'hui descendre à une fraction de micromètre. En plein développement, les modalités de mise en œuvre de ces méthodes (contraste de phase) permettent de décrire la morphologie de zones totalement indiscernables par les méthodes conventionnelles. En outre, l'imagerie synchrotron 2D apporte des informations sur l'évolution des espèces et les mécanismes de fossilisation.

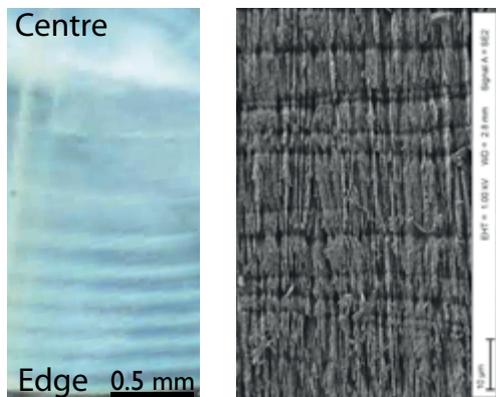


Imagerie 3D de fossiles pour leur étude anatomique (J.-S. Steyer *et al.*)

Conservation exceptionnelle de spécimens fossiles (P. Gueriau *et al.*)

Paléoenvironnements

Les techniques micro-faisceau mises en œuvre sur synchrotron fournissent des données sur le contexte environnemental des sites anciens, les processus d'altération des objets au cours du temps et les variations du climat. Ces données du passé sont cruciales pour comprendre les **paléoenvironnements** et nous éclairer sur les climats du futur.

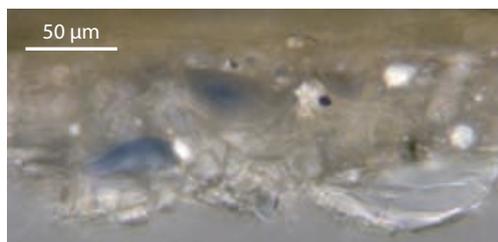


Étude d'otolithes, concrétions calcaires de l'oreille interne des poissons utilisées comme traceur paléoenvironnemental (P. Cook *et al.*)

Altérations taphonomiques d'ossements archéologiques (M. Lebon *et al.*)

Sciences de la conservation

Les méthodes synchrotron sont largement utilisées dans le domaine des **sciences de la conservation**. Elles contribuent à une meilleure compréhension des processus d'altération du patrimoine mobilier et bâti, et participent à l'évaluation de l'efficacité de traitements appliqués en restauration. Les micro-faisceaux de lumière disponibles permettent d'identifier les signatures moléculaires de procédés artistiques.



Identification des processus d'altération du pigment bleu de smalt (L. Robinet *et al.*)

Compréhension du mode de vernissage des instruments de musique employé par Antonio Stradivari et ses contemporains (J.-P. Échard *et al.*)

Particules de smalt présentant différents degrés d'altération dans une stratigraphie de peinture (L. Robinet et al.)

L'unité aujourd'hui

Loïc BERTRAND est le directeur de l'unité IPANEMA et coordonne l'axe « Imagerie et spectroscopie ».

Serge COHEN coordonne l'axe « traitement des données » et assure le suivi de la définition des équipements de tomographie X durs dans le cadre d'IPANEMA.

Sebastian SCHÖDER est le responsable de la ligne de lumière PUMA. Il est aidé de Françoise DESCHAMPS, assistant-ingénieur.

Dans l'axe « Imagerie et spectroscopie », Marie-Angélique LANGUILLE développe des méthodes de spectroscopie de rayons X pour l'étude de matériaux de l'archéologie et des sciences de la conservation. Mathieu THOURY développe des méthodes de spectroscopie et d'imagerie UV/visible et infrarouge pour l'étude de matériaux anciens. Alessandra VICHI participe à l'activité de recherche en préparation et caractérisation des matériaux par imagerie infrarouge.

Sébastien ANCELIN prend en charge les volets instrumentation électronique et mécanique.

Regina OPRANDI est l'administratrice de l'unité.

L'équipe comprend également quatre étudiants en thèse et des stagiaires.

L'équipe demain

L'unité IPANEMA sera constituée d'une quinzaine de personnes. Elle rassemblera des compétences en méthodes d'analyse physique de laboratoire et synchrotron (imageries 2D, 3D et spectroscopies), en analyse de données, en instrumentation électronique et mécanique et techniques de préparation, dégageant ainsi trois axes structurants pour l'unité (préparation / analyse photonique / données).

Chaque personnel s'impliquera alors avec sa spécialité sur plusieurs projets à moyen terme portés par les scientifiques hébergés.



Autour d'IPANEMA se sont mises en place des formations et une vie scientifique centrée sur l'étude des matériaux anciens. La diffusion des connaissances produites, auprès des communautés scientifiques, comme du grand public, est une des missions de la plateforme.

Diffusion scientifique

Les résultats des recherches menées sur IPANEMA sont publiés dans des revues de sciences « dures » et de sciences humaines.

Les groupes de travail qui ont contribué à la définition d'IPANEMA ont insisté sur le rôle que doit jouer la plateforme dans l'hébergement de bases de données de référence.

IPANEMA organise des événements scientifiques à portée internationale (colloques, ateliers thématiques, séminaires). Par exemple, en 2009 et 2011, deux colloques ont rassemblé les communautés pour la définition scientifique et technique d'IPANEMA et de la nouvelle ligne de lumière PUMA optimisée pour les matériaux anciens.



Écoles d'été

Depuis 2004, SOLEIL organise le premier cycle de formation dédié à l'étude synchrotron des matériaux anciens. Tous les trois ans, cette formation, très sollicitée, réunit 30 à 40 jeunes scientifiques avec le soutien d'instances européennes (COST, Commission européenne), du CNRS et des collectivités locales.

Dans le cadre de sa participation au projet européen CHARISMA, IPANEMA a organisé à l'été 2012 une école dédiée à l'optimisation de la préparation d'échantillon réunissant une douzaine de scientifiques provenant d'institutions muséales européennes majeures. L'événement a adopté un format novateur sous la forme de tables rondes permettant l'échange de bonnes pratiques. L'école était adossée à des analyses synchrotron dans le but d'évaluer l'impact de ces méthodes de préparation sur la qualité des résultats.

Une participation aux formations universitaires

Les chercheurs d'IPANEMA interviennent dans plusieurs modules de formation universitaire en France et en Europe. Ces interventions favorisent le transfert de connaissances sur les développements méthodologiques synchrotron récents vers les laboratoires d'archéologie, de paléontologie, de science de la conservation et sur les paléo-environnements. La formation est également un axe développé par le laboratoire d'excellence PATRIMA dont IPANEMA est membre depuis sa fondation en 2011.

Événements grand public

Fête de la Science, Journées européenne du patrimoine, conférences grand public, expositions itinérantes, Futur en Seine, interventions dans les médias, IPANEMA a déjà participé à l'animation de nombreux événements à destination du grand public.

ÉTHIQUE ET IMPLICATION SOCIÉTALE



Sélection des projets : une procédure d'évaluation rigoureuse

Un comité indépendant évaluera *a priori* et *a posteriori* les projets demandant un hébergement sur IPANEMA. En plus des critères de qualité des recherches, la sélection prendra en compte les exigences de publication des résultats, de durée des projets et de mise à disposition libre des données.

Une charte Collaborateurs IPANEMA pour encourager le travail collaboratif

Les conditions d'accueil des chercheurs et étudiants ont fait l'objet d'un travail de programmation soigné, visant à offrir le meilleur environnement de travail possible. La charte «Collaborateurs IPANEMA» précise les valeurs partagées lors du travail collaboratif sur la plateforme.

Un Conseil scientifique garant des réalisations

Le Conseil consultatif d'orientation scientifique d'IPANEMA (CCOSI) regroupe depuis 2010 une dizaine d'experts indépendants qui se réunissent tous les six mois pour une mise en place optimale de la plateforme de recherche.



Conformité à la conservation des biens culturels

La construction du bâtiment IPANEMA s'appuie sur les prescriptions de la norme Conservation des biens culturels – pôle de conservation. Le contrôle climatique des locaux vise à assurer les conditions optimales pour le séjour des œuvres et spécimens. Un accès au bâtiment synchrotron permet la circulation et le transport des objets et des prélèvements.

Qualité environnementale

La mise en place d'IPANEMA s'inscrit dans un processus de qualité environnementale. Celui-ci vise à minimiser l'impact de la plateforme sur l'environnement, maîtriser au maximum ses consommations (réduction des consommations énergétique du bâtiment, orientation des bâtiments, limitation des émissions de polluants, réduction de la production de déchets, choix des matériaux, chantier propre) et créer un environnement intérieur sain et confortable pour les scientifiques hébergés. Le nouveau bâtiment est ainsi particulièrement bien isolé, et est recouvert de toitures végétalisées.

Implication sociétale

IPANEMA prend particulièrement en compte les enjeux sociétaux majeurs, notamment concernant la parité et le handicap. Ainsi, le bâtiment d'IPANEMA est accessible aux personnes en situation de handicap. La communication d'IPANEMA bénéficie de l'apport de l'entreprise adaptée Sabooj (Paris) qui vise à servir de tremplin social pour les personnes handicapées à efficience réduite dans les métiers graphiques et audiovisuels.

SOLEIL, centre français de production et d'exploitation de lumière synchrotron pour l'étude de la matière

Inauguré le 18 décembre 2006, SOLEIL est une source de rayonnement synchrotron de troisième génération.

Installation de très haute technologie, le synchrotron SOLEIL est à la fois une machine qui produit un rayonnement dont la brillance surpasse les autres sources de lumière et un laboratoire de recherche à la pointe des techniques expérimentales.

Le synchrotron SOLEIL accueille l'ensemble de la communauté scientifique française et internationale.



Applications

Physique, chimie, sciences des matériaux, électronique, sciences du vivant, médecine, sciences de la terre et de l'atmosphère, environnement, agro-alimentaire, cosmétique, pharmacie, matériaux anciens... Les recherches qui y sont menées sont d'une aussi grande diversité que les domaines couverts. Si les centres de rayonnement synchrotron sont très complémentaires des autres dispositifs d'exploration de la matière, ils offrent aux scientifiques un panel de techniques spécifiques très large et sont aujourd'hui les sources de lumière les plus performantes.

Un synchrotron produit une lumière extrêmement brillante. Des électrons de très haute énergie sont soumis à l'action d'un champ magnétique pour courber leur trajectoire. Ils perdent alors de leur énergie, libérée sous la forme d'un rayonnement lumineux. Cette lumière, 10 000 fois plus intense que la lumière solaire, est émise de l'infrarouge aux rayons X, en passant par l'UV/visible.

Les photons émis viennent frapper un échantillon (objet, matière ou molécule) et permettent ainsi d'étudier ses propriétés physiques et chimiques et sa morphologie en surface ou en volume.

Les spécificités du synchrotron sont : sa gamme étendue de longueur d'onde, son intensité, sa stabilité, sa cohérence... Elles constituent des atouts de premier plan pour mieux comprendre les propriétés des matériaux.

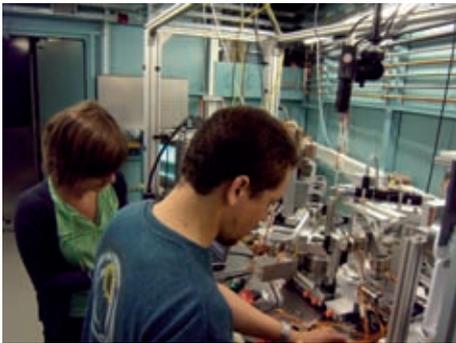


IPANEMA travaille aussi sur plusieurs installations synchrotron en France et à l'étranger

La vocation de l'accompagnement fourni par IPANEMA est de faciliter les recherches sur les matériaux anciens sur toutes les lignes du synchrotron SOLEIL, mais également sur d'autres installations synchrotron et lasers à électrons libres.

Ainsi, depuis 2008, des expériences ont également eu lieu à CLIO (Orsay), ESRF (Grenoble), ANKA (Karlsruhe, Allemagne), HASYLAB (Hambourg, Allemagne), BESSY (Berlin, Allemagne), Canadian Light Source (Saskatoon, Canada)... Des scientifiques d'IPANEMA participent également aux comités de sélection des projets synchrotron à Petra et à la Canadian Light Source.

Ces travaux impliquent des développements méthodologiques originaux.



Expériences en Allemagne dans le cadre de la thèse de S. Leroy.



Expériences infrarouges à CLIO (Orsay)

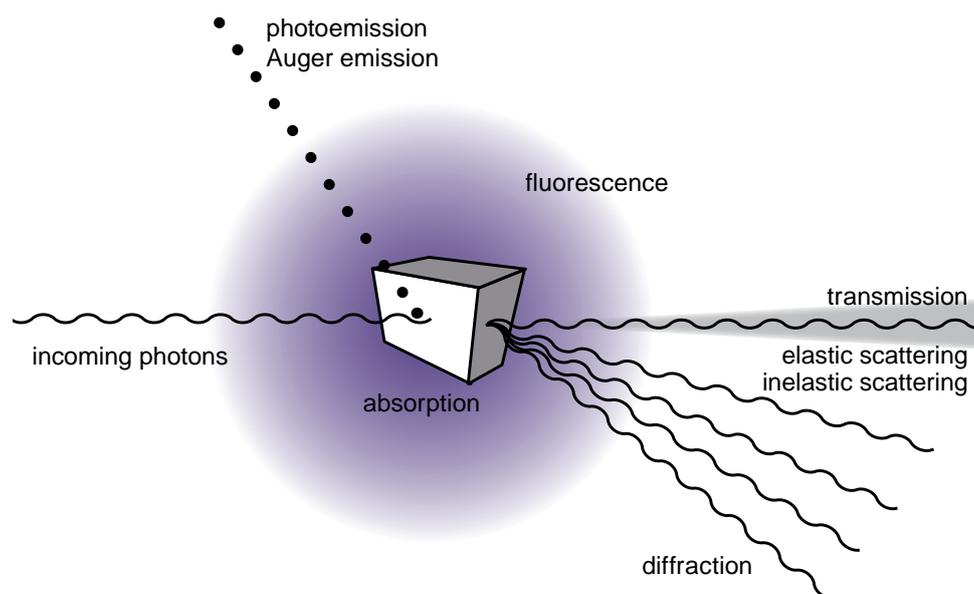
Les méthodes d'analyse synchrotron (fluorescence, diffraction, diffusion aux petits angles, absorption, microscopie, tomographie de rayons X, microscopie infrarouge, imagerie UV...) complètent celles de laboratoire lorsqu'une résolution plus fine, des données quantitatives ou une sélectivité chimique précise sont recherchées. Les demandes sont principalement dirigées vers les méthodes de micro-imagerie (X, infrarouge et plus récemment UV/visible), d'absorption, spectroscopie et de diffraction de rayons X. SOLEIL commence également à offrir l'accès aux méthodes de micro-tomographie de rayons X.

Micro-spectroscopie et imagerie 2D

Les micro-faisceaux infrarouge, UV/visible et de rayons X, d'un diamètre de l'ordre du micromètre ou moins sont employés pour des analyses ponctuelles sur micro-prélèvements ou pour l'acquisition de cartographies de balayage et d'images 2D *plein champ*. De telles cartes permettent d'accéder à la composition, la chimie locale et la structure à ces échelles cruciales pour l'étude des matériaux, de leur transformation par l'Homme et de leur vieillissement au cours du temps. Le couplage des différentes informations spectroscopiques et structurales est un enjeu majeur pour faire face à l'hétérogénéité des matériaux anciens.

Imagerie 3D par tomographie de rayons X

Certaines spécificités du rayonnement synchrotron (monochromaticité, très forte intensité, faisceau quasi-parallel et cohérence) sont particulièrement adaptées à l'étude tomographique d'échantillons difficiles à imager à l'aide d'équipements conventionnels de laboratoire. En particulier, l'effet de durcissement de faisceau dû à la polychromaticité des sources de rayons X de laboratoire est supprimé et le contraste de matériaux relativement homogènes en densité peut être fortement augmenté en mode *contraste de phase*. De telles modalités conduisent à porter un regard nouveau sur les spécimens paléontologiques.



Absorption et diffraction de rayons X

Les méthodes d'absorption de rayons X permettent de déterminer les environnements électroniques et atomiques d'un élément chimique. Ces méthodes permettent de confirmer un état d'oxydation ou d'identifier un composé chimique à partir de références, une approche notamment mise en oeuvre pour l'étude des processus d'altération des objets patrimoniaux, ou pour identifier les produits de réaction obtenus par reproduction de procédés anciens.

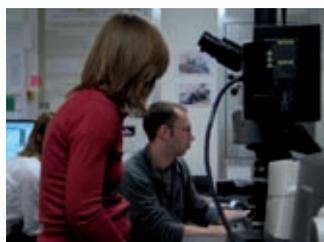
La diffraction de rayons X permet d'identifier les constituants cristallins d'un échantillon (poudre, coupe mince, échantillons massifs) ou de déterminer la structure à l'échelle atomique d'un composé cristallin. L'analyse poussée donne accès à la taille des domaines cristallins, à la texture (orientation préférentielle), aux défauts de structure, *etc.* et peut ainsi révéler des traitements thermiques ou mécaniques (cuisson, martelage...). Les exemples dans le domaine du patrimoine portent notamment sur le suivi *in situ* de la préparation de pigments, l'analyse de poudres cosmétiques anciennes, *etc.* La diffusion de rayons X aux petits angles est principalement employée pour déterminer l'organisation supramoléculaire et identifier des fibres anciennes (protéines, cellulose...) dans les textiles, parchemins, papiers anciens et restes d'origine humaine, ou afin de déterminer la distribution de pores dans un échantillon.

Analyses dynamiques

La brillance du faisceau synchrotron facilite le suivi en temps réel l'évolution de systèmes soumis à des sollicitations (température, traitement chimique). Un outil clé pour comprendre les méthodes de fabrication du passé ou suivre le processus d'altération des objets archéologiques.

De nombreuses autres méthodes

Photo-émission, diffusion inélastique, *etc.*, des dizaines d'autres modalités expérimentales nous donnent un éclairage plus complet sur les matériaux anciens en complément des outils de laboratoire et de terrain.





PRELIMINARY ANNOUNCEMENT

SYNCHROTRON RADIATION IN ART AND ARCHAEOLOGY (SR2A-2014) MUSÉE DU LOUVRE, PARIS, 10-12 SEPTEMBER 2014

Seven laboratories from CNRS, ministry of Culture and MNHN (IPANEMA at SOLEIL, C2RMF, LAMS, MNHN Prehistory Department, LAPA, LRMH, CRCC) join with PATRIMA and the Louvre Museum to organize the Sixth International Conference on Synchrotron Radiation in Art and Archaeology in Paris. The conference will consist of three full days of oral presentations and poster sessions in the heart of the Louvre museum, Paris, France.

The conference is open to all interested professionals, including archaeologists, conservation scientists, conservators, geochemists and material scientists, researchers with experience utilising large-scale research facilities and other analytical techniques, curators, cultural heritage managers, art historians, students, potential users of synchrotrons, etc. The Louvre venue is intended to provide an unprecedented opportunity for professionals from Europe and worldwide to meet and share their expertise and experience.

The conference language is English. Proceedings will be published.

<http://www.sr2a-2014.org>

Registration will open Summer 2013

The central theme of the SR2A series of conferences is the innovative use of methods employing synchrotron and neutron radiation (and related types of radiation) for the investigation of artistic and archaeological materials and artifacts. Since the first edition of the conference in 2005, SR2A has become a forum for discussion and presentation of up-to-date activities regarding the use of penetrating forms of radiation for non-destructive inspection and analysis of materials from the past. A specific focus will be put on New methods and analytical processes, Conservation and alteration, and Processes and chaînes opératoires at the Paris conference.

IPANEMA

CENTRE DE
RECHERCHE
ET DE
RESTAURATION
DES MUSÉES
DE FRANCE

CR
CC

LAMS

Laboratoire
Archéomatériaux
et Prévion
de l'Altération

LRMH
Laboratoire
de Recherche
des Monuments
Historiques

LOUVRE

MUSÉUM
NATIONAL
D'HISTOIRE
NATURELLE

avec le soutien de :



PATRIMA

IPANEMA ANCIENT MATERIALS
RESEARCH PLATFORM

Institut photonique d'analyse non-destructive européen
des matériaux anciens **IPANEMA** – CNRS / MCC

site du Synchrotron Soleil
BP48 Saint-Aubin
F-91192 Gif-sur-Yvette
France

Contacts presse

Muriel ILOUS, muriel.ilous@cnrs-dir.fr
Régina OPRANDI, regina.oprandi@synchrotron-soleil.fr

Contact scientifique

Loïc BERTRAND, loic.bertrand@synchrotron-soleil.fr